Iranian Food Science and Technology Research Journal
Homepage: https://ifstrj.um.ac.ir

Short Article
Vol. 21, No. 2, May.-Jun., 2025, p. 253-260

Evaluation of Cold Plasma on Physicochemical Properties of Rose Water

Z. Rahmani[1], P. Ahmadi[1], R. Sharafati Chaleshtori[2*]

1- Department of Laser and Photonics, Faculty of Physics,University of Kashan, Kashan, Iran
2- Research Center for Biochemistry and Nutrition in Metabolic Diseases, Institute for Basic Sciences, Kashan University of Medical Sciences, Kashan, Iran
(*- Corresponding Author Email: sharafati.reza@gmail.com)

Received: 29.10.2024 Revised: 25.12.2024 Accepted: 29.12.2024 Available Online: 23.04.2025	**How to cite this article:** Rahmani, Z., Ahmadi, P., & Sharafati Chaleshtori, R. (2025). Evaluation of cold plasma on physicochemical properties of rose water. *Iranian Food Science and Technology Research Journal, 21*(2), 253-260. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90520.1381

Introduction

Rose water, as one of the distillation products prepared from the rose, is widely used in the food industry and traditional medicine in Iran. Therefore, maintaining the microbial and chemical quality of this product is important. Non-thermal processing technologies have attracted wide attention from the food industry. These alternative technologies can increase shelf life and reduce the negative impact on nutrients and natural flavor of foods. Cold plasma technology has been used as a replacement for new generation methods and as a non-thermal technology in the food processing. This research was designed to investigate the effect of atmospheric pressure cold plasma on the physicochemical properties and microbial load of rose water.

Materials and Methods

In this experimental research, a dielectric barrier discharge system was designed. This system was used by producing plasma microbubbles to have an effect on rose water samples with an essential oil content of 28 mg/100 ml. Rose water samples were plasma-treated at 12 and 15 kV for 4, 6 and 8 minutes. Tthe essential oil amount, acid value, iodine number, pH, density, oxidation number, ester number and the total bacterial count were then performed on the samples.

Results and Discussion

Plasma showed no significant change in the density of rose water in all treatments. Changes in acidity, pH, ester number and iodide number were observed with increasing time and plasma voltage. These changes were significant between the treatment groups and the control group ($P<0.05$), but not significant within the treatment groups ($P>0.05$). The greatest decrease in the amount of essential oil was 10.81 and 8.49 mg per 100 ml of rose water, respectively, related to the treatment with voltage of 15 kV at 6 and 8 minutes. Generation/destruction paths of the radicals and their reactions demonstrate the complicated interplay between the plasma induced species (electrons, photons, radicals, etc.) and the dissolved compounds in the liquid species, which ultimately affect the ion concentration (pH and σ) and the oxidizer concentration (redox) in the liquid. However, a decrease in pH is accompanied by an increase in Eh and σ, with a parallel increase in ROS. In addition, plasma in 8 minutes at voltages of 12 and 15 kV caused a decrease of about 3 log in the total number of mesophilic bacteria compared to the control group. Plasma significantly reduced the total number of mesophilic bacteria in rose water. The bactericidal activity of plasma might occur through several mechanisms. Impact on permeabilisation of the cell membrane or wall, leading to leakage of cellular components, containing potassium, nucleic acid, and proteins. In addition, it causes critical damage of intracellular proteins from oxidative or nitrosative species and direct chemical DNA damage. Plasma-generated reactive species and specially H2O2 were found to be the causative agent of cell death. H2O2 is a well-known antibacterial agent that damages iron–sulphur and mononuclear iron enzymes in bacterial cells.

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90520.1381

Conclusion

The application of plasma at high voltage and longtime caused a sharp decrease in the amount of essential oil, increased acidity and decreased pH of rose water. It is suggested that future studies be conducted on the type of gas used to produce plasma, the size of the reactor used, and the identification of changes in essential oil compounds using gas chromatography with mass spectrometry.

Funding Sources

This research did not receive any specific funding from funding organizations in the public, commercial or non-profit sectors.

Acknowledgement

The present research is derived from the master's thesis in physics, and therefore the support of the research deputy of Kashan University and Kashan University of Medical Sciences is acknowledged and thanked.

Keywords: Cold plasma, Essential oil, Rose water, Total count bacteria

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
https://ifstrj.um.ac.ir

مقاله کوتاه

جلد ۲۱، شماره ۲، خرداد-تیر ۱۴۰۴، ص. ۲۶۰-۲۵۳

بررسی اثر پلاسمای سرد بر روی خواص فیزیکو شیمیایی و میکروبی گلاب

زینب رحمانی[۱]- پاشا احمدی[۱]- رضا شرافتی چالشتری[۲]*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹

چکیده

گلاب به‌عنوان یکی از فرآورده تقطیری تهیه شـده از گل محمدی، در صـنعت غذا و طب سـنتی مصـرف زیادی در ایران دارد. بنابراین حفظ کیفیت میکروبی و شیمیایی این فرآورده مهم می‌باشد. این پژوهش به جهت بررسی اثر پلاسمای سرد فشار اتمسفری بر خواص فیزیکوشیمیایی و بار میکروبی گلاب طراحی گردید. در این پژوهش تجربی، ابتدا یک سامانه تخلیه سد دی‌الکتریک طراحی گردید. این سامانه با تولید میکروحباب‌های پلاسمایی برای اثردهی بر روی نمونه‌های گلاب با میزان اسـانس ۲۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ میلی‌لیتر، به کار گرفته شـد. نمونه‌های گلاب در ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت به‌مدت زمان‌های ۴، ۶ و ۸ دقیقه پلاسـمادهی شـدند. سپس آزمون‌های میزان اسانس، عدد اسیدی، عدد یدی، pH، چگالی، عدد اکسـیداسـیون، عدد استری و شـمارش کلی میکروارگانیسـم‌ها برای نمونه‌ها انجام گرفت. پلاسـما در تمام تیمارها تغییر معناداری بر روی چگالی گلاب نشـان نداد. با افزایش زمان و ولتاژ پلاسـمادهی تغییرات در میزان اسـیدیته، pH، عدد اسـتری و یدی مشـاهده شـد. این تغییرات با گروه کنترل معنادار بودند ولی بین تیمارها معنی‌دار نمی‌باشـند ($P< ۰/۰۵$). بیشـتـرین کاهش در میزان اسـانس به‌ترتیب ۱۰/۸۱ و ۸/۴۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر گلاب مربوط به تیمارهای با ولتاژ ۱۵ کیلوولت و زمان‌های ۶ و ۸ دقیقه بودند. همچنین پلاسـمـا در ۸ دقیقه در ولتاژهای ۱۲ و ۱۵ کیلوولت سـبـب کاهش حدود ۳ لگاریتمی تعداد کلی باکتری‌های مزوفیل نسبت به گروه کنترل شد. پلاسما به‌طور معناداری سبب کاهش تعداد کلی باکتری‌های مزوفیل در گلاب شد. با این وجود استفاده از پلاسما در ولتاژ بالا و زمان زیاد سبب کاهش شدید در میزان اسانس، افزایش اسیدیته و کاهش pH گلاب شد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، پلاسمای سرد، شمارش کلی میکروبی، گلاب

مقدمه

گلاب فرآورده‌ای است که از تقطیر آب با گلبرگ‌های تازه گل‌محمدی به‌دست می‌آید. گلاب و اسانس آن از جمله ارزشمندترین مواد اولیه صنایع غذایی، عطر، آرایشی و دارویی هستند. گلاب در مراسم‌های مذهبی در ایران استفاده می‌شود. در صنعت غذا، گلاب و اسانس آن به‌دلیل خواص معطر و فرار خود در تولید چای، مربا، بیسکویت، کیک، شیرینی و نوشیدنی استفاده می‌شوند (Koksal *et al*., 2015).

کیفیت شیمیایی و میکروبی ماده غذایی خام یا فرآوری‌نشده، شرایط بهداشتی حمل‌ونقل مواد خام و در حال فرآوری مانند گلاب پاستوریزه نشده، کفایت بسته‌بندی، نحوه جابجایی و شرایط نگهداری محصول نهایی، همگی در ایجاد تغییرات شیمیایی و میکروبی محصول نهایی تأثیر می‌گذارند. وجود میکروارگانیسم‌های مختلف در گلاب و عرقیات گیاهی، ارزیابی وضعیت بهداشتی این محصولات را مهم می‌کند. عوامل مختلفی می‌توانند بر تعداد و نوع میکروارگانیسم‌های موجود در گلاب تأثیر بگذارند. رشد میکروبی و تغییرات نامطلوب شیمیایی به‌ویژه ترشیدگی و کاهش میزان اسانس گلاب به‌عنوان عوامل شایع در کاهش کیفیت و نهایتا عدم انطباق با استانداردهای مربوطه می‌شود (Rahmani, 2023).

در دو دهه گذشته، فناوری‌های فرآوری غیرحرارتی توجه گسترده‌ای از سوی صنعت غذا که به دنبال فرآیندهای ملایم و مؤثر

۱- گروه لیزر و فوتونیک، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران
۲- مرکز تحقیقات بیوشیمی و تغذیه در بیماری‌های متابولیک، دانشگاه علوم پزشکی کاشان، کاشان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: sharafati.reza@gmail.com)

https://doi.org/10.22067/ifstrj.2024.90520.1381

است، جلب کرده است. این فناوری‌های جایگزین می‌توانند عملکرد و ماندگاری را افزایش داده و تأثیر منفی بر مواد مغذی و طعم طبیعی غذا را کاهش دهند (Huang *et al*., 2017; Sharafati Chaleshtori, 2015).

میدان پالس الکتریکی یک روش غیر حرارتی است که می‌تواند برای مواد غذایی مایع مانند آب میوه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. فراصوت یک روش غیر حرارتی دیگر است که به‌ویژه برای استخراج مواد فعال زیستی، امولسیون‌سازی، پختن و تلخی‌زدایی استفاده می‌شود. فناوری فوق بحرانی از سیالات فوق بحرانی استفاده می‌کند و برای استخراج مواد فعال زیستی از گیاهان کاربرد دارد. پرتودهی با اشعه گاما و ماورابنفش که برای نگهداری مواد غذایی به واسطه خاصیت از بین برندگی میکروارگانیسم‌ها استفاده می‌شود ولی کابرد کمتری در مواد غذایی مایع دارد (Jadhav *et al*., 2021).

فناوری پلاسمای سرد به‌عنوان جایگزینی برای روش‌های نسل جدید و به‌عنوان یک فناوری غیرحرارتی در فرآیند فرآوری مواد غذایی مورد استفاده قرار گرفته است (Mir *et al*., 2020). در یک مطالعه مروری نشان دادند که پلاسمای سرد در صنعت نوشیدنی‌ها سبب غیر فعال شدن آنزیم‌ها می‌شود. بعلاوه تغییرات شدیدی در ویژگی‌های کیفی و تغذیه‌ای نوشیدنی‌ها در مواجهه با زمان‌های کم با پلاسمای سرد ایجاد نشده است (Waghmare, 2021). از سوی دیگر، اثرات پلاسمای سرد بر باکتری‌های گرم مثبت عمدتا آسیب شدید داخل سلولی بدون نشت سلولی است (Eazhumalai *et al*., 2022). علی‌رغم مزیت‌های روش‌های غیر حرارتی، هنوز استفاده آنها در سطح آزمایشگاهی باقی مانده است (Jadhav *et al*., 2021).

بنابراین با توجه به اینکه یکی از ویژگی‌های کیفی گلاب میزان اسانس آن است و استفاده از روش‌هایی مانند پاستوریزاسیون جهت جلوگیری از رشد میکروب‌ها می‌تواند سبب کاهش درصد اسانس محصول نهایی شود (Baydar *et al*., 2013)، استفاده از روش‌های پاستوریزاسیون و یا استریلیزاسیون غیرحرارتی با کمترین اثر بر روی غلظت اسانس این نوع محصولات ضروری به نظر می‌رسد. لذا هدف از انجام این مطالعه بررسی اثر پلاسمای سرد فشار اتمسفری بر خواص فیزیکوشیمیایی و بار میکروبی گلاب بود.

مواد و روش‌ها

مشخصات دستگاه پلاسمای سرد اتمسفری

به‌منظور ایجاد پلاسمای سرد یک راکتور تخلیه الکتریکی سد دی‌الکتریک طراحی گردید که از یک الکترود میله‌ای از جنس فولاد که اطراف آن را یک دی‌الکتریک پوشش داده است. در قسمت بالای الکترود، از تفلونی که دارای ورودی گاز است و عایق و آب‌بندی بالای دی‌الکتریک‌ها را برعهده دارد استفاده شد. همچنین در قسمت پایینی آن از یک تفلون دارای راهی برای خروج گاز یونیزه شده و اثردهی مستقیم بر نمونه مورد نظر است استفاده شد. در این مجموعه الکترود زمین همان نمونه تحت تیمار و هوا گاز مورد استفاده بود.

آماده‌سازی تیمارهای گلاب

جهت بررسی اثر پلاسما بر گلاب، ابتدا گلاب غیر پاستوریزه از یک واحد کارگاهی در کاشان در خرداد ماه ۱۴۰۳ با حداقل اسانس ۲۶ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر تهیه شد. گلاب تهیه شده از لحاظ پارامترهای شیمیایی با استاندارد ملی گلاب ۵۷۵۹ مطابقت داشت. قبل از تهیه تیمارها تمام تجهیزات مورد استفاده با استفاده از اتانول ۷۰٪ ضدعفونی شدند. همچنین هوای محیط آزمایش نیز با دستگاه تصفیه هوای ساخت شرکت پلاسما فناوران کویر تصفیه شد. جهت اثر پلاسما در گلاب یک لیتر از گلاب تهیه شده درون بشر دو لیتری استریل شده ریخته شد و راکتور ضدعفونی شده داخل گلاب قرار گرفت. گلاب‌ها تحت تأثیر پلاسما با دو ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در زمان‌های ۴، ۶ و ۸ دقیقه قرار گرفتند. سپس نمونه‌ها در شیشه‌های درپیچ‌دار استریل جهت انجام آزمون شمارش کلی میکروارگانیسم‌ها و فیزیکوشیمیایی در دمای یخچالی نگهداری شدند.

آزمون‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی گلاب

آزمون‌های اسانس، عدد اسیدی، عدد یدی، pH، چگالی، عدد اکسیداسیون، عدد استری و شمارش کلی میکروارگانیسم‌های نمونه‌های گلاب طبق استاندارد ملی گلاب شماره ۵۷۵۹ تجدید نظر سوم انجام گرفت (ISIRI, 2022).

تحلیل آماری

تمام آزمون‌های شیمیایی و میکروبی در این مطالعه با سه بار تکرار انجام گرفت. نتایج بدست آمده به صورت میانگین ± انحراف معیار گزارش شدند. آنالیز آماری جهت مقایسه میانگین داده‌های بین تیمارها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۱۸ و با آزمون ANOVA در سطح معنی‌داری ۰/۰۵ انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج تأثیر پلاسما با ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در زمان‌های ۴، ۶ و ۸ دقیقه بر فاکتورهای فیزیکوشیمیایی گلاب غلیظ در جدول ۱ قابل مشاهده می‌باشد.

جدول ۱- تأثیر پلاسما با ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در زمان‌های ٤، ٦ و ٨ دقیقه بر فاکتورهای شیمیایی گلاب

Table 1- The effect of plasma at voltages of 12 and 15 kV for durations of 4, 6, and 8 minutes on the chemical factors of rose water

	رنج استاندارد Standard range	کنترل Control	تیمار ۱ Treatment 1	تیمار ۲ Treatment 2	تیمار ۳ Treatment 3	تیمار ٤ Treatment 4	تیمار ٥ Treatment 5	تیمار ٦ Treatment 6
pH	3.6-8	4.27±0.03[a]	4.15±0.04[b]	4.26±0.04[a]	4.19±0.06[b]	4.19±0.04[b]	3.96±0.02[c]	4.14±0.03[b]
عدد اسیدی Acid number	0.6-8	5.04±0.26[a]	5.4±0.2[b]	5.2±0.36[b]	5.64±0.34[b]	5.44±0.28[b]	6±0.2[b]	5.56±0.3[b]
عدد استری Ester number	Min 0.8	2±0.1[a]	1.6±0.08[b]	1±0.06[c]	1.2±0.09[c]	1±0.1[c]	1.2±0.1[c]	0.8±0.1[c]
عدد یدی Iodine value	12-57	54.8±1.2[a]	56±4[a]	36±5[b]	52±6[a]	43.2±4[b]	54±3[b]	51.6±3[b]
عدد اکسیداسیون Oxidation number	120-230	154±5[a]	156±6[a]	158±4[a]	154±4[a]	153±6[a]	154±4[a]	158±4[a]
میزان اسانس Essential oil content	12-32	28.35±0.5[a]	22.16±0.6[b]	19.89±0.25[c]	21.09±0.4[b]	17.54±0.5[d]	20.01±0.6[e]	19.86±0.4[e]
چگالی در ۲۰°c Density at 20 °C	Max 1.005	1.0±0.0[a]	1.0±0.0[a]	1.0±0.0[a]	1.0±0.0[a]	0.999±0.0[a]	0.999±0.0[a]	0.999±0.0[a]

تیمار ۱ (ولتاژ ۱۲ کیلوولت در زمان ۴ دقیقه)، تیمار ۲ (ولتاژ ۱۵ کیلوولت در زمان ۴ دقیقه)، تیمار ۳ (ولتاژ ۱۲ کیلوولت در زمان ۶ دقیقه)، تیمار ۴ (ولتاژ ۱۵ کیلوولت در زمان ۶ دقیقه)، تیمار ۵ (ولتاژ ۱۲ کیلوولت در زمان ۸ دقیقه)، تیمار ۶ (ولتاژ ۱۵ کیلوولت در زمان ۸ دقیقه). حروف کوچک انگلیسی در هر ردیف نشان‌دهنده تفاوت معنادار در سطح (p<۰/۰۵) بین تیمارها می‌باشند.

Treatment 1 (Voltage 12 kV for 4 minutes), Treatment 2 (Voltage 15 kV for 4 minutes), Treatment 3 (Voltage 12 kV for 6 minutes), Treatment 4 (Voltage 15 kV for 6 minutes), Treatment 5 (Voltage 12 kV for 8 minutes), Treatment 6 (Voltage 15 kV for 8 minutes). The lowercase letters in each row indicate significant differences at the level of ($p < 0.05$) between the treatments.

بر اساس نتایج، میزان pH نمونه‌های گلاب تیمار شده با پلاسمای ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در همه زمان‌ها به‌طور معناداری کاهش نشان دادند. با این وجود تمامی تیمارها در محدوده استاندارد قرار داشته‌اند. نتایج آزمون اسیدیته نیز حاکی از افزایش اسیدیته گلاب به واسطه اثر پلاسما در تمامی زمان‌ها و ولتاژها نسبت به گروه کنترل می‌باشد ولی این تفاوت‌های بین تیمارها معنی‌دار نمی‌باشد (P> ۰/۰۵). نتایج آزمون‌های استری و یدی نیز نشان داد که پلاسما با ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در همه زمان‌ها سبب کاهش معنادار آنها نسبت به گروه کنترل شده است. با افزایش و ولتاژ زمان اثر کاهش عدد استری و یدی مشهود است ولی این تفاوت‌های بین تیمارها معنی‌دار نمی‌باشد (P> ۰/۰۵). مهم‌ترین شاخصی که تغییر اساسی در آن اتفاق افتاده است میزان محتوی اسانس است که با افزایش ولتاژ و همچنین زمان، کاهش چشم‌گیری را نشان داده‌است (P< ۰/۰۵). با این وجود تمامی نمونه‌ها از نظر مقدار اسانس با استاندارد ملی ایران (۱۲-۳۲ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) مطابقت دارد. همچنین نتایج تغییرات چگالی گلاب به واسطه اثر پلاسما، هیچگونه تغییر محسوسی نشان نداد.

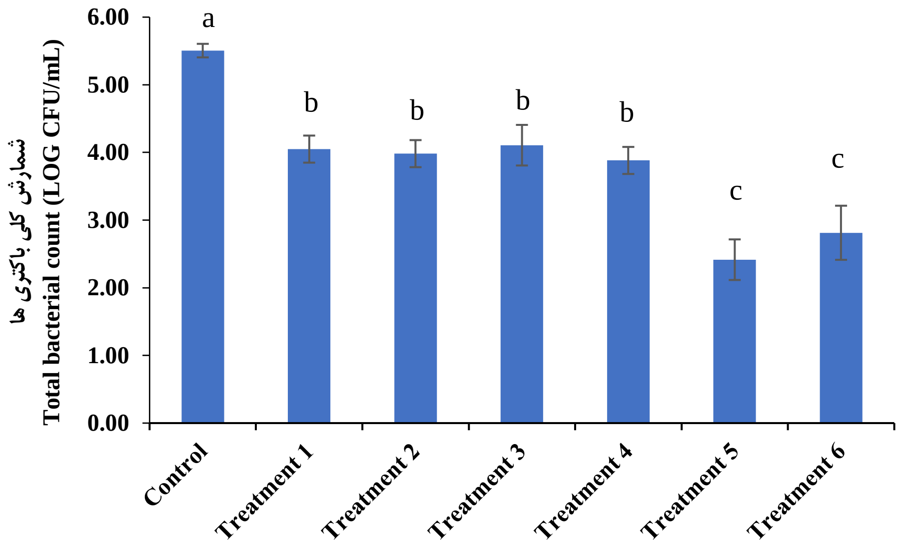
در مطالعه تقی عبادی و همکاران (Ebadi *et al.*, 2019)، اثر پلاسمای سرد با فشار پایین بر محتوای اسانس برگ به لیمو و ترکیبات آن بررسی شد. نتایج آنها نشان داد استفاده از زمان‌های طولانی پلاسمای سرد می‌تواند سبب کاهش ۰/۹ تا ۱/۲ درصد اسانس شود. که این نتایج همسو با مطالعه حاضر بود. علاوه بر این تغییرات ایجاد شده در ترکیبات اسانس نمونه‌های تیمار شده با پلاسما حاکی از مقادیر بیشتر لیمونن، globulol، spathulenol و مقادیر کمتر سیترال نسبت به گروه کنترل بود (Ebadi *et al.*, 2019).

در بررسی دیگری اثر پلاسمای سرد بر کیفیت گیاه زوفا در زمان نگهداری ۶ ماهه انجام شد. محققان نشان دادند پلاسما سبب کاهش معنادار محتوی اسانس و همچنین ترکیبات β-pinene، *cis*-pinocamphone و *trans*-pinocamphone نسبت به گروه کنترل شده بود. با این وجود پلاسما تغییری در رنگ محصول نهایی ایجاد نکرده بود (Jangi *et al.*, 2021).

چن و همکاران (Chen *et al.*, 2024) در مطالعه‌ای نشان دادند که در شرایط بهینه (۶۰ کیلوولت ۶۰ ثانیه)، تیمار با پلاسمای سرد اتمسفری تأثیر کمی بر مشخصات فیزیکوشیمیایی، ترکیب تغذیه‌ای و حسی شیر نارگیل داشت. تیمار با پلاسمای سرد اتمسفری به‌طور واضح هیدرولیز اسیدهای هیدروکسیل از تری‌گلیسیریدها را برای تشکیل لاکتون‌ها ترویج کرد، که نقش مهمی در تشکیل طعم کلی شیر نارگیل ایفا می‌کرد (Chen *et al.*, 2024).

پورتو و همکاران (Porto *et al.*, 2023)، آب آناناس را جهت کاهش ترکیبات سولفوره و بهبود کیفیت تازگی آن با استفاده از پلاسما تحت تیمار قرار دادند. پلاسما سبب القاء دمتیلاسیون استرهای آب آناناس و تبدیل متیل استرها به اتیل استرها شدند. با این حال تیواسترها نسبت به پلاسما مقاوم بودند. کاهش متیل هگزانات در نمونه‌های تیمار سبب کاهش طعم تندی آب میوه شد. نتایج آنها نشان داد افزایش زمان پلاسمادهی می‌تواند سبب کاهش کیفیت و تازگی آب آناناس شود (Porto *et al.*, 2023).

نتایج شمارش کلی باکتری‌ها برای نمونه شاهد و نمونه‌های تیمار شده با پلاسما در زمان‌های ۴، ۶ و ۸ دقیقه و با ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت، در شکل ۱ قابل مشاهده است. نتایج نشان داد که پلاسما با ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در زمان‌های ۴، ۶ و ۸ دقیقه به‌طور معناداری سبب کاهش تعداد کلی باکتری‌های مزوفیل در گلاب شدند. همچنین بیشترین اثر کاهش باکتری‌ها در گلاب مربوط به تیمارهای ۵ و ۶ بود (P<۰/۰۵).



شکل ۱- تأثیر پلاسما با ولتاژ ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در زمان‌های ٤، ٦ و ٨ دقیقه بر شمارش کلی باکتری‌های (LOG CFU/mL) گلاب

تیمار ۱ (ولتاژ ۱۲ کیلوولت در زمان ۴ دقیقه)، تیمار ۲ (ولتاژ ۱۵ کیلوولت در زمان ۴ دقیقه)، تیمار ۳ (ولتاژ ۱۲ کیلوولت در زمان ۶ دقیقه)، تیمار ۴ (ولتاژ ۱۵ کیلوولت در زمان ۶ دقیقه)، تیمار ۵ (ولتاژ ۱۲ کیلوولت در زمان ۸ دقیقه)، تیمار ۶ (ولتاژ ۱۵ کیلوولت در زمان ۸ دقیقه). حروف کوچک انگلیسی نشان‌دهنده تفاوت معنادار در سطح (P<۰/۰۵) بین تیمارها می‌باشند.

Fig. 1. The effect of plasma with voltages of 12 kV and 15 kV for durations of 4, 6, and 8 minutes on the total bacterial count (LOG CFU/mL) in rose water

Treatment 1 (Voltage 12 kV for 4 minutes), Treatment 2 (Voltage 15 kV for 4 minutes), Treatment 3 (Voltage 12 kV for 6 minutes), Treatment 4 (Voltage 15 kV for 6 minutes), Treatment 5 (Voltage 12 kV for 8 minutes), Treatment 6 (Voltage 15 kV for 8 minutes). The lowercase letters indicate significant differences at the level of (p > 0.05) between the treatments.

در مطالعه کاهار و همکاران (Kahar *et al*., 2024)، اثر پلاسمای اتمسفری بر ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و میکروبی رازیانه، دارچین و فلفل سیاه را بررسی کردند. تیمارهای پلاسمادهی بر اساس متغیرهای ولتاژ (۱۷۰، ۲۰۰ و ۲۳۰ ولت) و مدت زمان (۵، ۱۰ و ۱۵ دقیقه) بود. نتایج نشان داد که در حداقل ولتاژ و کمترین زمان (۱۷۰ ولت و ۵ دقیقه)، شمارش کلی کپک و مخمر به میزان ۱/۳، ۱/۱ و ۱ لگاریتم CFU/g، به‌ترتیب در دارچین، فلفل سیاه و رازیانه کاهش یافت. همچنین در ولتاژ ۲۳۰ ولت و ۱۵ دقیقه به‌طور کامل آلودگی میکروبی از بین رفت. رنگ و بافت نمونه‌ها در هیچکدام از تیمارها تغییر نکرد.

ولی محتوای آب فعال نمونه‌ها پس از تیمار با پلاسما کاهش داشت که می‌تواند یکی از دلایل اثرات ضد میکروبی پلاسما در این نمونه‌ها باشد (Kahar *et al*., 2024).

در مطالعه‌ای توسط داش و همکاران (Dash & Jaganmohan, 2022) کیفیت شیر تیمار شده با تکنولوژی پلاسمای سرد را بررسی کردند. پلاسما به‌طور کارآمد تعداد کلنی‌ها را در شیر با یک ماه ماندگاری با ولتاژ اثردهی ۲۰۰ ولت، نرخ جریان۱۰ لیتر در ساعت، مدت زمان اثردهی ۱۵ دقیقه و ۱۰۰ میلی‌لیتر نمونه، بدون هیچ اثر منفی کاهش داد (Dash & Jaganmohan, 2022).

در مطالعه حاضر همسو با مطالعات ذکر شده، اثر ضد میکروبی پلاسمای سرد در کاهش لگاریتمی شمارش کلی باکتری‌های گلاب مشاهده شد. با این وجود تغییرات شیمیایی به وجود آمده به‌ویژه در اسیدیته و pH و میزان اسانس می‌تواند ناشی از آزاد شدن رادیکال‌های آزاد OH باشد که رابطه مستقیم خطی با افزایش زمان پلاسمادهی در نمونه‌های مایع می‌باشد (Rathore & Nema, 2021). در اثر القاء پلاسما و برهمکنش فوتون‌ها، رادیکال‌ها و الکترون‌های تولید شده با ترکیبات محلول در نمونه‌های مایع سبب تغییر در غلظت یون‌ها شده که موجب کاهش pH، افزایش σ و افزایش غلظت اکسید کننده‌ها می‌شوند (Svarnas *et al.*, 2022). مکانیسم‌های ضد باکتریایی فناوری‌های غیرحرارتی مانند پرتودهی اشعه گاما، میدان پالس الکتریکی، افزودنی‌های شیمیایی و طبیعی، فراصوت و غیره در مطالعات گذشته گزارش شده‌اند (Porto *et al.*, 2023; Sharafati Chaleshtori *et al.*, 2012). مکانیسم اثر ضدمیکروبی پلاسما می‌تواند ناشی از آسیب مستقیم به نفوذپذیری غشا سول‌ها و درنتیجه خارج شدن محتوای سلولی مانند اسیدنوکلئیک‌ها، پروتئین‌ها و پتاسیم، تخریب DNA و آنزیم‌های پروتئینی باشد. بعلاوه تولید آب اکسیژنه در هنگام پلاسمادهی با اثر بر روی آنزیم‌های مونونوکلئر–آهن و آهن–گوگرد در باکتری‌ها سبب مرگ آنها می‌شوند (Shabani *et al.*, 2023).

نتیجه‌گیری

نتایج مطالعه نشان داد که بیشترین میزان کاهش لگاریتمی را در شمارش کلی باکتری‌ها در اثر تیمار پلاسما در ولتاژهای ۱۲ و ۱۵ کیلوولت در زمان ۸ دقیقه به‌ترتیب، برابر ۳/۱۱ و ۲/۷ CFU/mL بودند. همچنین به‌عنوان یک اثر غیرمطلوب پلاسما، بیشترین کاهش در میزان اسانس به‌ترتیب ۱۰/۸۱ و ۸/۴۹ میلی‌گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر گلاب مربوط به تیمارهای با ولتاژ ۱۵ کیلوولت و زمان‌های ۶ و ۸ دقیقه بودند. پیشنهاد می‌گردد مطالعات آینده بر روی نوع گاز مورد استفاده جهت تولید پلاسما، اندازه راکتور مورد استفاده و شناسایی تغییرات ترکیبات اسانس با استفاده از گازکروماتوگرافی طیف‌سنج جرمی انجام گیرد.

میزان مشارکت نویسندگان

زینب رحمانی: مدیریت پروژه، نظارت، نوشتن– بررسی و ویرایش، **پاشا احمدی:** تحقیق و بررسی، روش‌شناسی، نوشتن– پیش‌نویس اصلی، **رضا شرافتی چالشتری:** مفهوم سازی، مدیریت داده‌ها، تحلیل رسمی، نظارت، روش‌شناسی، نوشتن– بررسی و ویرایش.

منابع تأمین مالی

این تحقیق هیچ کمک مالی خاصی از سازمان‌های تأمین مالی در بخش‌های عمومی، تجاری یا غیرانتفاعی دریافت نکرد.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

سپاسگزاری

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد فیزیک بوده و لذا از حمایت‌های حوزه پژوهشی دانشگاه‌های کاشان و علوم پزشکی کاشان تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

1. Baydar, H., Kuleasan, H., Kara, N., Secilmis-Canbay, H., & Kineci, S. (2013). The effects of pasteurization, ultraviolet radiation and chemiclal preservatives on microbial spoilage and scent composition of rose water. *Journal of Essential oil bearing plants*, *16*, 151-160. https://doi.org/10.1080/0972060X.2013.794043
2. Chen, Y., Chen, Y., Fang, Y., Pei, Z., & Zhang, W. (2024). Coconut milk treated by atmospheric cold plasma: Effect on quality and stability. *Food Chemistry*, *430*, 137045. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.137045
3. Dash, S., & Jaganmohan, R. (2022). Stability and shelf-life of plasma bubbling treated cow milk. *BioRxiv*, 2022-02. https://doi.org/10.1101/2022.02.18.480824
4. Eazhumalai, G., Ranjitha Gracy, T., Mishra, A., & Annapure, U.S. (2022). Atmospheric pressure nonthermal pin to plate plasma system for the microbial decontamination of oat milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, *46*, e16181. https://doi.org/10.1111/jfpp.16181
5. Ebadi, M.T., Abbasi, S., Harouni, A., & Sefidkon, F. (2019). Effect of cold plasma on essential oil content and composition of lemon verbena. *Food Science & Nutrition*, *7*(4), 1166-1171. https://doi.org/10.1002/fsn3.876
6. Huang, H.-W., Wu, S.-J., Lu, J.-K., Shyu, Y.-T., & Wang, C.-Y. (2017). Current status and future trends of high-pressure processing in food industry. *Food Control*, *72*, 1-8. https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.07.019
7. ISIRI (Iranian Institute of Standards and Industrial Research). (2022). Rose water–Specifications and test methods, INSO 5759, 3rd Revision 2022.

8. Jadhav, H.B., Annapure, U.S., & Deshmukh, R.R. (2021). Non-thermal technologies for food processing. *Frontiers in Nutrition*, *8*, 657090. https://doi.org/10.3389/fnut.2021.657090
9. Jangi, F., Ebadi, M.T., & Ayyari, M. (2021). Qualitative changes in hyssop (*Hyssopus officinalis* L.) as affected by cold plasma, packaging method and storage duration. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, *22*, 100289. https://doi.org/10.1016/j.jarmap.2020.100289
10. Kahar, S.P., Shelar, A., & Annapure, U.S. (2024). Effect of pin-to-plate atmospheric cold plasma (ACP) on microbial load and physicochemical properties in cinnamon, black pepper, and fennel. *Food Research International*, *177*, 113920. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113920
11. Koksal, N., Saribas, R., Kafkas, E., Aslancan, H., & Sadighazadi, S. (2015). Determination of volatile compounds of the first rose oil and the first rose water by HS-SPME/GC/MS techniques. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, *12*, 145-150. https://doi.org/10.4314/ajtcam.v12i4.21
12. Mir, S., Siddiqui, M., Dar, B., Shah, M., Wani, M., Roohinejad, S., Annor, G., Mallikarjunan, K., Chin, C., & Ali, A. (2020). Promising applications of cold plasma for microbial safety, chemical decontamination and quality enhancement in fruits. *Journal of Applied Microbiology*, *129*, 474-485. https://doi.org/10.1111/jam.14541
13. Porto, E.C., de Brito, E.S., Rodrigues, S., & Fernandes, F.A. (2023). Effect of atmospheric cold plasma on the aroma of pineapple juice: improving fresh and fruity notes and reducing undesired pungent and sulfurous aromas. *Processes*, *11*(8), 2303. https://doi.org/10.3390/pr11082303
14. Rahmani, Z., Mohamadi, F., & Sharafati Chaleshtori, R. (2023). Evaluation of the effect of cold plasma against *Pseudomonas aeruginosa* inoculated in rose water. *Journal of Food Microbiology*, *10*, 80-87.
15. Rathore, V., & Nema, S.K. (2021). Optimization of process parameters to generate plasma activated water and study of physicochemical properties of plasma activated solutions at optimum condition. *Journal of Applied Physics*, *129*, 084901. https://doi.org/10.1063/5.0033848
16. Shabani, H., Dezhpour, A., Jafari, S., Moghaddam, M.J.M., & Nilkar, M. (2023). Antimicrobial activity of cold atmospheric-pressure argon plasma combined with chicory (*Cichorium intybus* L.) extract against *P. aeruginosa* and *E. coli* biofilms. *Scientific Reports*, *13*, 9441. https://doi.org/10.1038/s41598-023-35906-x
17. Sharafati Chaleshtori, R., Rafieian Kopaei, M., & Salehi, E. (2015). Bioactivity of *Apium petroselinum* and *Portulaca oleracea* essential oils as natural preservatives. *Jundishapur Journal of Microbiology*, *8*, e20128. https://doi.org/10.5812/jjm.20128
18. Sharafati Chaleshtori, R., Rafieian Kopaei, M., Rokni, N., Mortezaei, S., & Sharafati Chaleshtori, A. (2012). Antioxidant activity of *Zataria multiflora* hydroalcoholic extract and its antibacterial effect on *Staphylococcus aureus*. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, *21*, 88-94. https://doi.org/10.5812/jjm.7877
19. Svarnas, P., Poupouzas, M., Papalexopoulou, K., Kalaitzopoulou, E., Skipitari, M., Papadea, P., Varemmenou, A., Giannakopoulos, E., Georgiou, C.D., Georga, S., & Krontiras, C. (2022). Water modification by cold plasma jet with respect to physical and chemical properties. *Applied Sciences*, *12*(23), 11950. https://doi.org/10.3390/app122311950
20. Waghmare, R. (2021). Cold plasma technology for fruit based beverages: A review. *Trends in Food Science & Technology*, *114*, 60-69. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.05.018